Centre Universitaire Abdelhafid Bousouf - Mila

2024-2024 Semestre 6

Alimentation en eau potable

– Cours 4 –

Chapitre 04 : Les réservoirs d'eau potable

Staff pédagogique			
Nom	**Grade**	**Institut**	**Adresse e-mail**
Boumessenegh Amel	MCB	Sciences et Technologie	a.boumessenegh@centre-univ-mila.dz

Etudiants concernés			
Institut	**Département**	**Année**	**Spécialité**
Sciences et Technologie	GC et hydraulique	Licence 3	Hydraulique urbaine

Objectifs du cours 4

Ce cours a pour objectif de fournir une compréhension approfondie des réservoirs d'eau potable, de leur rôle dans un réseau d'adduction et de distribution, ainsi que des principes de conception et de gestion.

1. Comprendre le rôle des réservoirs d'eau potable

- Assurer un stockage suffisant pour répondre à la demande en eau.
- Réguler la pression et compenser les variations de consommation.
- Servir de réserve en cas de panne ou d'incident dans le réseau.
- Contribuer à la gestion des ressources en eau et à la réduction des coûts énergétiques.

1. Introduction

Le Les eaux qui sont généralement captées peu ou bien trop loin de l'agglomération, sont acheminées grâce à des conduites vers les lieux de distributions, ce qu'on appelle le lieu de stockage.

Donc le stockage se fait dans des réservoirs, ces réservoirs différents de leur forme, leur capacité de stockage, leur position par rapport à l'agglomération et même leur rôle. Mais malgré cette différence entre les réservoirs on ne trouve généralement ces derniers que sur le point le plus haut dans l'agglomération pour assurer une distribution gravitaire et gagnant d'énergie.

1.2 Définition d'un réservoir

Un réservoir est une enveloppe contenant un liquide, ce liquide est généralement de l'eau, soit potable. Parmi les liquides autres que l'eau les plus souvent le lit et les hydrocarbures.

Les réservoirs peuvent être construits découverts ou au contraire munis d'une coupole ou en dalle plate. Les réservoirs peuvent êtres simples ou complexes et formés de plusieurs cellules. La forme en plan peut être quelconque (figure 04.1).

Cependant la plupart du temps les petits réservoirs se font carrés ou rectangulaires, mais la forme circulaire et moins couteuse.

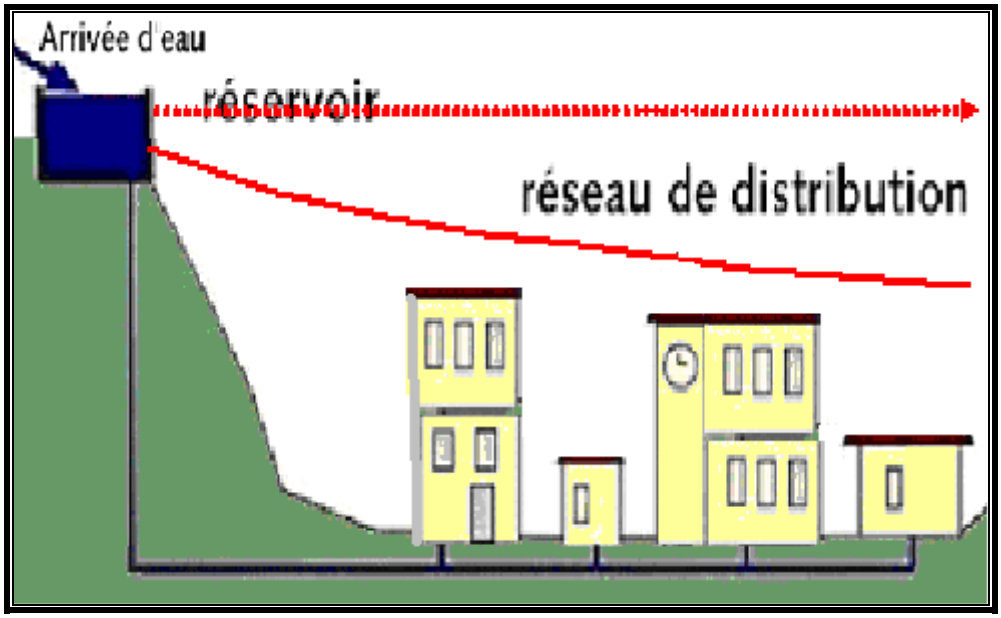


Figure 1 : Schéma général des phases de production et de distribution d'un AEP

1.2 Rôle du réservoir

- Satisfaire les besoins en eau de l'agglomération.
- Permettre une marche plus uniforme des pompes.
- D'assurer aux heures de pointes les débits maximaux demandés.
- Régulariser les pressions dans le réseau de distribution.
- Maintenir l'eau à l'abri des risques de contamination et la préserve contre les fortes variations de température.

1.3 Classification des réservoirs

1.3.1 D'après la nature des matériaux, on distingue :

- Les réservoirs en maçonneries.
- Les réservoirs en bétons armé, ordinaire ou précontraint.

1.3.2 D'après la situation des lieux, ils peuvent être :

- Enterrés.
- Semi enterrés.
- Surélevés sur tours (château d'eau) (figure 4.02).

Figure2. Illustration de la variété des réservoirs sur élevés en termes de forme, taille et hauteur

1.4 Caractéristiques des réservoirs

Forme de la cuve

Les formes des réservoirs sont multiples :

- **Forme cylindrique** (la plus utilisée pour les réservoirs surélevés)
- **Forme parallélépipédique** (la plus simple pour les réservoirs enterrés)
- **Formes esthétiques** : Forme de fleur, forme de champignon, ... Mais ces formes coûtent trop chère dans leur réalisation.

La forme la plus économique est la forme cylindrique.

- Elle présente la meilleure répartition des pressions.
- Elle nécessite le minimum de bétons pour un volume d'eau à stocker.

1.5 Emplacement du réservoir

1.5.1 Distribution gravitaire (normale)

La distribution est gravitaire quand le réservoir se trouve à un niveau par rapport à l'agglomération sera suffisamment élevé.

1.5.2 Distribution étagée

Il arrive qu'une ville présente des différences de niveau importantes. Or, nous verrous, à propos de la distribution urbaine, qu'il convient d'éviter des pressions trop fortes sur le réseau et que des pressions de l'ordre de 40.00 m d'eau constituent une limite qu'il est bon en ville de ne pas dépasser.

Par exemple dans la figure 4 – 3, pour une ville étagée entre les cotes (30.00 m) et (70.00 m), un réservoir $\mathbf{R_1}$ pourra être prévu pour alimenter la zone comprise entre (30.00) et (50.00).

$\mathbf{R_1}$ sera établi à la cote 70.00 m et la pression au sol variera donc de 70 – 30 = 40 m d'eau à 70 – 50 = 20 m d'eau. En plus, un réservoir $\mathbf{R_2}$ à la cote 90 alimentera la zone comprise entre 50 et 70 m.

Ces réservoirs pourront être alimentés, soit par une station commune, soit par des sources différentes. Ils pourront également être reliés entre eux pour se porter secours éventuellement.

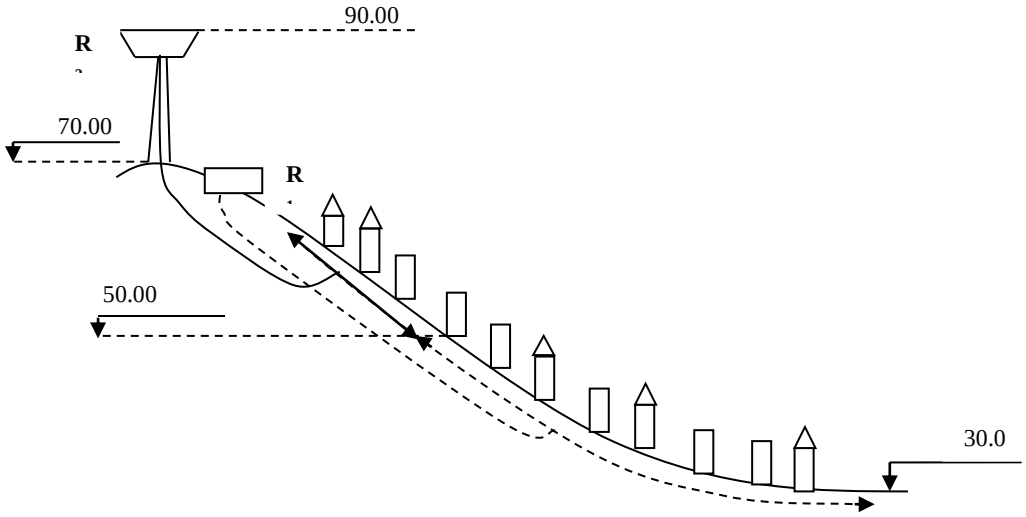


Figure 3. Distribution étagée

2. Réservoir d'équilibre supplémentaire

Dans l'hypothèse où une agglomération s'étend dans une direction donnée, le réservoir unique peut devenir insuffisant et ne donner, en extrémité de réseau, que des pressions trop faibles aux heures de pointe. On a recours alors à un ou plusieurs réservoirs d'équilibre, en liaison avec le réservoir principal, et qui se remplissent au moment des faibles consommations, c'est-à-dire la nuit principalement, et, partiellement, pendant le jour.

La conduite de liaison, de par son diamètre et sa pente hydraulique, conditionne le débit qui va alimenter le deuxième réservoir (II). Ce débit doit être suffisant pour que (II) soit plein au début de la matinée figure 4 – 4.

Il faut que la pression au point B soit au moins égale à la pression minimale à satisfaire entre les deux réservoirs.

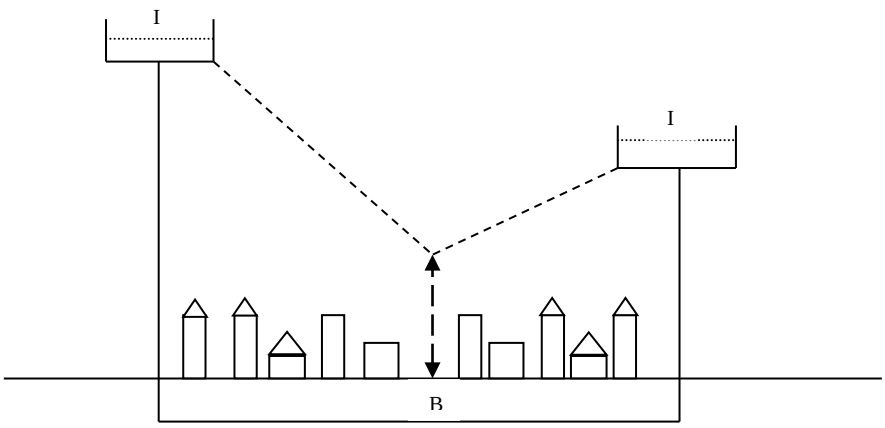


Figure 4. Réservoirs d'équilibre.

3. Principe de calcul de la capacité d'un réservoir

On détermine la capacité du réservoir en tenant compte des variations du débits entrant et débit sortant du réservoir. Le volume du réservoir est obtenu par la somme en valeur absolue de la plus grande valeur positive et la plus grande valeur négative de la régularisation de distribution augmenter du volume de la réserve d'incendie et le volume de sécurité par la formule suivante :

$$V_R = V_u + V_s + V_{inc}$$

Avec :

V_R : le volume du réservoir m^3

V_u : le volume utile m^3

V_s : le volume de la sécurité m^3

V_{inc} : le volume d'incendie m^3

3.1Déterminer le volume utile

Pour déterminer le volume utile on fait la régularisation de la distribution des eaux, il est donné par la formule suivante :

$$V_u = |\Delta V^{+}_{max}| + |\Delta V^{-}_{max}|$$

Avec :

$|\Delta V^{+}_{max}|$: surplus en eau m^3

$|\Delta V^{-}_{max}|$: déficit en eau m^3

Pour déterminer la valeur du volume utile on utilise les coefficients horaires (ch) (tableau 4–1).

Tableau 4 – 1 : les coefficients horaires ch en fonction de nombre d'habitant.

Heures	Inférieure à10.000	10.000<N<50.000	50.000<N<100.000	>100.000
0 – 1	1	1.5	3.25	3
1 – 2	1	1.5	3.25	3.1
2 – 3	1	1.5	3.3	3.1
3 – 4	1	1.5	3.2	2.6
4 – 5	2	2.5	3.25	3.5
5 – 6	3	3.5	3.4	4.5
6 – 7	5	4.5	3.85	4.5

7 – 8	6.5	5.5	4.45	4.1
8 – 9	6.5	6.25	5.2	4.9
9 – 10	5.5	6.25	5.05	5.6
10 – 11	4.5	6.25	4.85	4.8
11 – 12	5.5	6.25	4.6	4.7
12 – 13	7	5	4.6	4.4
13 – 14	7	5	4.55	4.1
14 – 15	5.5	5.5	4.75	4.2
15 – 16	4.5	6	4.7	4.65
16 – 17	5	6	4.65	4.4
17 – 18	6.5	5.5	4.35	4.1
18 – 19	6.5	5	4.4	4.5
19 – 20	5	4.5	4.3	4.5
20 – 21	4.5	4	4.3	4.3
21 – 22	3	3	4.2	4.8
22 – 23	2	2	3.75	4.5
23 – 24	1	1.5	3.7	3.3

3.2 Déterminer le volume d'incendie

Pour le calcul du volume d'incendie on utilise la relation suivante :

$$V_{inc} = q_{inc}\, t$$

Avec :

q_{inc} : le débit d'incendie l/s.

t : le suffisant à l'affaissement une moyenne incendie généralement t = 2 heures.

Le débit d'incendie est calculé selon l'importance de la ville et la texture architecturel et les équipements existent Le tableau 4– 2.

Tableau 4 – 2 : le débit d'incendie en fonction du nombre d'habitant et l'importance de l'immeuble.

Nombre d'habitant	Nombre d'incendie au même temps	q_{inc} l/s	
		Immeuble d'un étage	Immeuble de 3 étages ou plus

Inférieure à 5000	1	5	5
5000 – 10.000	1	10	10
10.000 – 25.000	2	10	10
25.000 – 50.000	2	10	15
Supérieure à 50.000	2	17	17

Selon le règlement le volume d'incendie et égale à 120 m^3 avec un débit de 17 l/s pour l'affaissement d'un incendie en 2 heures à condition que la pression dans le poteau d'incendie ne soit pas inférieure à 10 m d'eau.

3.3 Déterminer de volume de sécurité

Le volume de sécurité est donné par la relation suivante :

$$V_s = (10-15)\%\,(V_u + V_{inc})$$

On prend généralement un pourcentage de 12% donc le volume de sécurité sera donc :

$$V_s = 12\%\,(V_u + V_{inc})$$

Remarque :

Selon A. Dupont le volume du réservoir dans le cas d'un pompage continu est de l'ordre de 30 pour cent du débit maximal journalier : $V_r = 30\%\ Q_{maxj}$

4. Dimensionnement du réservoir

Il faut choisir une hauteur de la cuve du réservoir (H = 3 – 6 m) en fonction de l'importance de l'agglomération et les besoins en eaux potable.

Pour déterminer le diamètre du réservoir, on utilise la relation suivante :

$$V = S\,H = \pi\,\frac{D^2}{4}\,H \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4\,V}{\pi\,H}}$$

Exemple : soit le volume du réservoir R = 200 m^3 avec une hauteur H= 3 m, déterminer le diamètre du réservoir.

$$D = \sqrt{\frac{4*200}{3.14*3}} = 9.21 \approx 9.50\ m$$

4.1 Calcul de la cote du radier du réservoir

L'implantation du réservoir tient compte du relief permettant d'obtenir des dépenses minimales des frais d'investissement et d'exploitation, donc on est amené à tenir compte des facteurs suivants :

- Le point le plus haut à alimenter.
- La hauteur de plus haut bâtiment.

- Les pertes de charges à partir du réservoir jusqu'au point le plus défavorable de la ville.

Pour déterminer la coté du radier du réservoir Cr on utilise la formule suivante qui tient compte de plusieurs facteurs :

$$C_r = CTN + H + h_s + P_s + \Delta H_t$$

Avec :

CTN : la cote du terrain naturel du point le plus défavorable.

H : la hauteur de plus haut bâtiment (fonction de nombre d'étages).

h_s : perte de charge singulière dans les bâtiment (2 – 4 m) on prend généralement h_s = 4 m.

P_s : colonne d'eau supplémentaire tenant compte des chauffes d'eau et autres appareils d'eau (3– 5 m) on prend P_s = 3m

ΔH_t : perte de charge linéaire et singulière sur le tronçon reliant le réservoir au point le plus défavorable.

En premier pas on calcul la cote du radier approximative :

$$C_r = CTN + H + h_s + P_s$$

Le calcul des pertes de charges linéaires s'effectue le long de la conduite de distribution et le long des conduites reliant le point le plus défavorable dans le réseau c'est pourquoi on doit d'abord déterminer les dimensions de la conduite de distribution principale et les conduites du réseau.

4.1.1 Calcul de la perte de charge linéaire

Les pertes de charge linéaires sont données par la formule suivante :

$$\Delta H_L = j\,L = \frac{\lambda\, v^2}{2\, g\, D}\, L$$

j: gradient hydraulique de perte de charge m/m.

v: vitesse d'écoulement m/s.

D : diamètre de la conduite.

L : longueur de la conduite m.

La perte de charge totale est donnée par la formule suivante :

$$\Delta H_t = \Delta H_L + \Delta H_s \text{Avec } \Delta H_s = (15-20)\%\, \Delta H_L$$

λ est donnée par itération d'après Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon}{3.7\, D} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{\lambda_0}}\right]$$

Avec :

ε : coefficient de rugosité ε = 10^{-4} pour les conduite on pvc

R_e : le nombre de Reynolds, il se calcule par la formule suivante :

$$R_e = \frac{v\ D}{\partial}$$

∂ : viscosité cinématique de l'eau $\partial = 10^{-6}$ m/s

Si Re> 10^6 le régime d'écoulement est régime transitoire.

On régime transitoire λ_0 pet être déterminer par la formule de Nikuradze:

$$\lambda_0 = \left(1.14 - 0.86\ \ln\frac{\varepsilon}{D}\right)^{-2}$$

Application :

Déterminer les pertes de charge totale pour une conduite de longueur L=136m avec un diamètre de 200mm et une vitesse de 0.60m/s.

Solution :

- Déterminer λ_0:

$$\lambda_0 = \left(1.14 - 0.86\ \ln\frac{\varepsilon}{D}\right)^{-2} = \left(1.14 - 0.86\ln\frac{10^{-4}}{0.2}\right)^{-2} = 0.016968453$$

λ_0= 0.016968453

- Déterminer le nombre de Reynolds :

$$R_e = \frac{v\ D}{\partial} = \frac{0.60 * 0.2}{10^{-6}} = 120000$$

R_e=120.000

- Déterminer λ:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon}{3.7\ D} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{\lambda_0}}\right]$$

$$= -2\log\left[\frac{\varepsilon}{3.7\ D} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{0.016968453}}\right] = 0.020072565$$

λ_2 = 0.019853374

λ_3 = 0.019867329

λ_4= 0.019866434

λ_5= 0.019866492

λ_6= 0.019866488

λ_7= 0.019866488

λ= 0.019866488

- Déterminer j :

$$j = \frac{\lambda\ v^2}{2\ g\ D} = \frac{0.019866488 * (0.6)^2}{2 * 9.81 * 0.2} = 0.001822613$$

j = 0.001822613

- Déterminer ΔH_L:

$$\Delta H_L = j\ L = 0.001822613 * 136 = 0.247792$$

ΔH_L= 0.247792mcd'eau

- Déterminer ΔH_s:

$$\Delta H_s = 15\%\ \Delta H_L = \frac{15}{100}\ 0.247792 = 0.0371688$$

ΔH_s= 0.03371688 mcd'eau

- Déterminer ΔH_t:

$$\Delta H_t = \Delta H_L + \Delta H_s = 0.247792 + 0.0371688 = 0.2848608$$

ΔH_t= 0.2848608 mcd'eau

5. Equipement des réservoirs

5.1 Conduite d'adduction

L'adduction est faite par refoulement, arrivée dans la cuve en siphon noyé (à la partie supérieure de la cuve), ou par le bas placé à l'opposé de la conduite de départ, afin de provoquer le brassage, par conséquent, un dispositif de contrôle situé au niveau de la station de pompage permet le déclanchement de l'arrêt ou de la mise en marche des pompes.

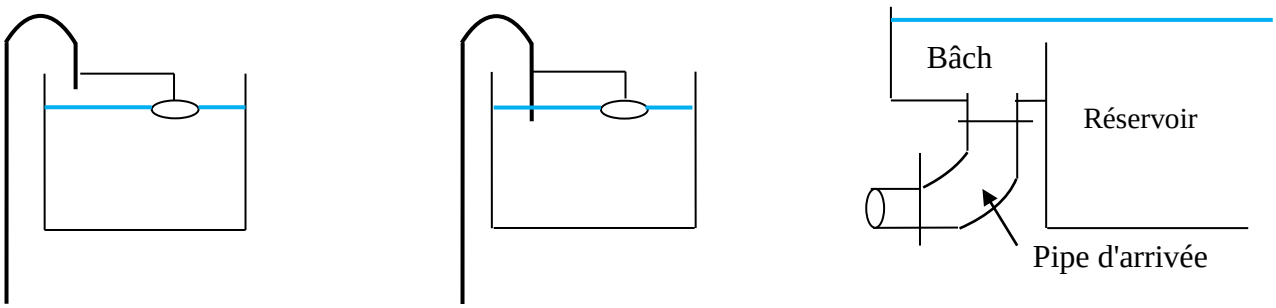


Figure4 –3 : Adduction avec chute libre Adduction noyée Arrivée en pipe

5.2 Conduite de distribution

C'est la conduite qui véhicule l'eau du réservoir (cuve) vers l'agglomération. Son orifice sera disposé à l'opposé de la conduite d'arrivée ; elle est placée à quelques centimètres (15/20 cm) au-dessus du fond de la cuve, pour éviter l'introduction de matières en suspension de l'air. L'extrémité est munie d'une crépine courbée à fin d'éviter le phénomène De vortex (pénétration d'air dans la conduite).

Cette conduite est équipée d'une vanne à survitesse, permutant la fermeture rapide en cas de rupture au niveau de cette conduite.

Pour le dimensionnement de la conduite on a :

$$Q_p = v\,s$$

Avec :

Q_p : le débit de pointe m^3/s

s : la section de la conduite

v : La vitesse d'écoulement et varie entre 0.5 – 1.5 m/s, généralement on prend une vitesse v = 1m/s

Donc : $$D = \sqrt{\frac{4\,Q_p}{\pi\,v}}$$

On détermine après la vitesse $v = \frac{4\,Q_p}{\pi\,D^2}$

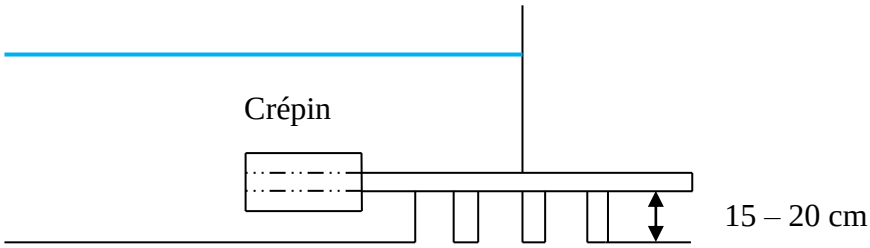


Figure 4. Départ de la distribution.

5.3 Top plein

Cette conduite a pour rôle d'évacuer l'excès d'eau arrivant a réservoir sans provoquer de déversement. Pour le cas où la pompe d'alimentation ne se serait pas arrêtée L'extrémité supérieure de cette conduite est munie d'un entonnoir jouant le rôle d'un déversoir circulaire permettant cette évacuation.

Le débit évacue dans ces conditions est donnée par la formule d'après Lancastre :

$$Q = 27.828\,\mu\,r\,h^{3/2}$$

Avec :

h: la hauteur d'eau sur le trop plein.

r : le rayon de l'ouverture du tronc de cône de la conduite.

µ: coefficient d'écoulement donnée en fonction de h/r.

Tableau 3 – 6 : valeurs de µ

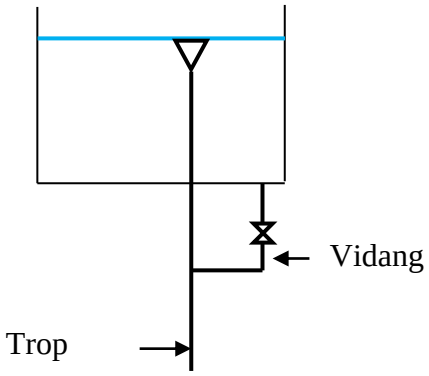
h/r	0.2	0.25	0.30	0.40	0.50
µ	0.415	0.414	0.410	0.404	0.394

Si on prend µ = 0.415 on à h/r = 0.2 donc h = 0.2 r

$$r = \left[\frac{Q}{27.828\,\mu\,(0.2)^{\frac{3}{2}}}\right]^{2/5}$$

La canalisation de trop plein débouchera à un exutoire voisin, mais on peut craindre, par cet exutoire, une pollution ou une introduction d'animaux ou de moustiques qui pourraient ainsi

pénétrer dans le réservoir. Aussi ménage-t-on un joint hydraulique constitué par un siphon qui maintient en eau le tronçon AB du trop-plein.



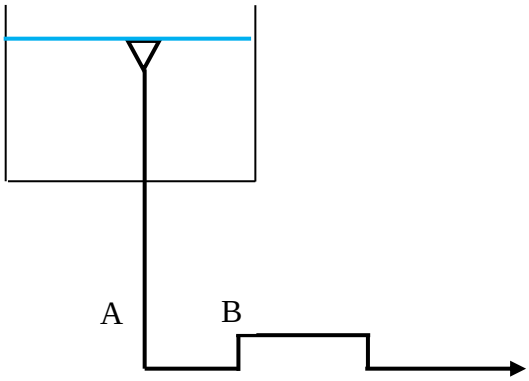


Figure 4– 5 : Trop plein et vidange siphon trop plein

5.4 Conduite de vidange

Elle part du point le plus bas du réservoir et de raccord sur la canalisation du trop-plein, elle dispose d'une vanne. Le vidange est indispensable pour l'entretien du réservoir (nettoyage, réparation, …).

Le diamètre de cette conduite est donné d'après la relation suivante :

$$Q = \mu s \sqrt{2 g h} = \mu \left[\frac{\pi D^2}{4}\right] \sqrt{2 g h}$$

Donc : $$D = \sqrt{\frac{4 Q}{\mu \pi \sqrt{2 g h}}}$$

Avec :
h : la hauteur d'eau dans le réservoir m.
Q : le débit d'arrivé m^3/s

μ : coefficient d'écoulement, on prend μ = 0.4

Application :

Pour un réservoir de 700 m^3 quel est le diamètre de la conduite de vidange si h = 6m et on veut le vidé en 2 heures.

Solution :

- Déterminer le débit

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{700}{2 * 3600} = 0.097$$

Q = 0.097 m^3/s

- Calculer le diamètre de la conduite :

$$D = \sqrt{\frac{4\,Q}{\mu\,\pi\,\sqrt{2\,g\,h}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.097}{0.4 * 3.14 * \sqrt{2 * 9.81 * 6}}} = 0.168 \approx 200mm$$

D = 200 mm

- Calculer le débit d'écoulement dans la conduite de vidange :

$$Q = \mu \left[\frac{\pi\,D^2}{4}\right] \sqrt{2\,g\,h} = 0.4 \left[\frac{3.14 * 0.2^2}{4}\right] \sqrt{2 * 9.81 * 6} = 0.136$$

Q = 0.136 m^3/s

Et la vitesse d'écoulement :

$$v = \frac{4\,Q}{\pi\,D^2} = \frac{4 * 0.136}{3.14 * 0.2^2} = 4.33$$

v = 4.33 m/s

Le diamètre de la conduite de vidange est 0.2 m évacué un débit de 0.136 m^3/s avec une vitesse de 4.33 m/s.

5.5 Dispositions spéciales

5.5.1 By-pass

Assurer la continuité de la distribution, en cas de travaux de maintenance ou dans le cas de vidange de la cuve ; on relie la conduite d'adduction à celle de la distribution par un tronçon de conduite appelé By-pass.
Dans le cas d'utilisation du réservoir les vannes (1) et (3) sont ouvertes et (2) fermée.

- Dans le cas de nettoyage du réservoir on ferme (1) et (3) et on ouvre (2).

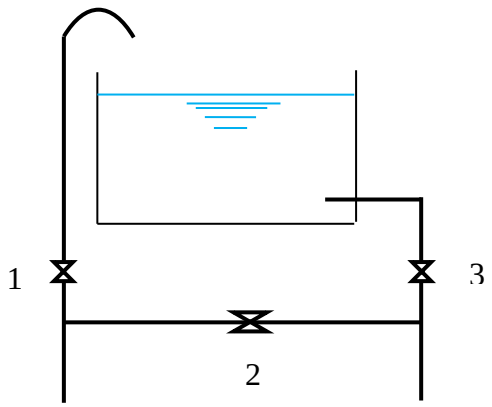


Figure 4 – 6 : by-pass

5.5.2Matérialisation de la réserve d'incendie

Le réservoir dispose toujours d'une certaine quantité d'eau d'environ 120 m^3 stockée en cas d'incendie. On adopte un dispositif constitué par un siphon qui se désamorce quand le niveau du réservoir est atteint et cela grâce à l'évent ouvert à l'aire libre.

- Dans le cas normal de distribution, on ferme (2) et ouvre (1) et (3).

- Dans le cas d'incendie on ouvre (2) et ferme (1) et (3).

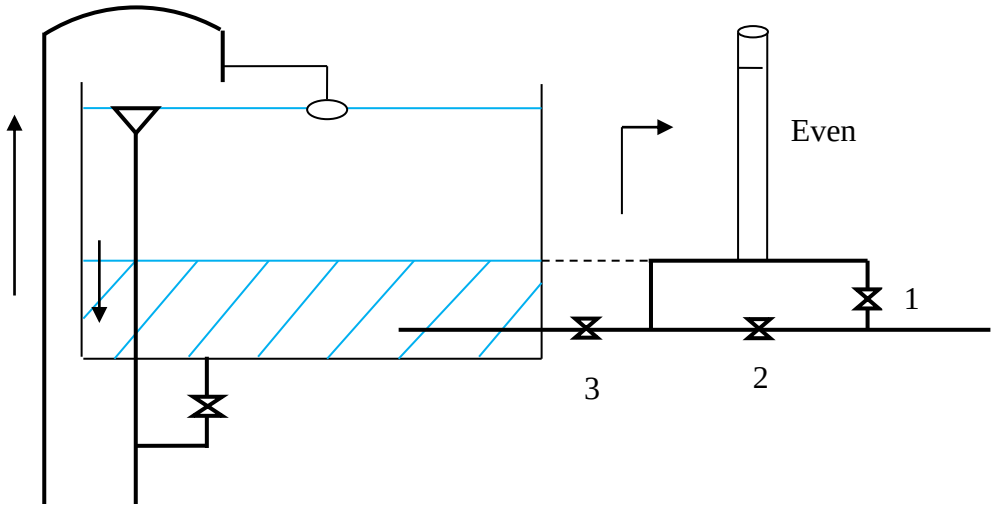


Figure 4 – 7 : matérialisation de la réserve d'incendie.

5.6 systèmes de canalisation

-Conduite : les conduites sont de forme circulaire en fonte ductile, caractérisée par d'excellentes propriétés mécaniques (dé formabilité, résistance à la corrosion).

-Coudes et TE : Elles sont placées dans la tuyauterie ; le coude permet le changement de direction, le TE permet la prise de canalisation secondaire sur la conduite principale.

-Vannes : On prévoit des vannes au niveau de la conduite d'adduction à fin d'isoler les tronçons de la conduite en cas d'avarie, à la sortie de la conduite de départ, on admet des vannes papillons (à survitesse) ; utile en cas de vidange rapide.

-Robinet flotteur : Il permet de maintenir à un niveau déterminé le plan d'eau dans la cuve et ceci en fermant la conduite d'arrivée quand ce niveau est atteint.

Conclusion

L'approvisionnement en eau potable est un enjeu majeur pour le développement des sociétés et le bien-être des populations. Les réseaux de distribution d'eau doivent répondre à des exigences strictes en matière de débit, de pression et de qualité de l'eau, tout en s'adaptant aux évolutions démographiques et aux défis environnementaux.

Liens utiles

- https://youtu.be/WBbjP6GKf00
- https://youtu.be/UPIWMT65Q8g

- https://youtu.be/AKd2CUxpKVw

Références

- https://fasoeducation.bf/espace_eleves/secondaire/eftp/bac_technologique/ouvrages_stockage/co/grain_types_reservoirs.html
- https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9servoir_d'eau
- https://www.di-camillo.com/fr/guide-pour-le-choix-des-reservoirs-deau-materiaux-types-et-criteres-de-choix/
- https://geniecivilpdf.com/les-reservoirs-deau-potable/
- https://tankeros.com/fr/types-de-cuves/
- https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=21626
- https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/daoud_ali/files/stockage_de_leau_potable.pdf?m=1586375135
- https://tpdemain.com/module/le-stockage-de-leau-potable/